

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-207777  
 (43)Date of publication of application : 26.07.2002

(51)Int.CI. G06F 17/50  
 // G05B 19/4097

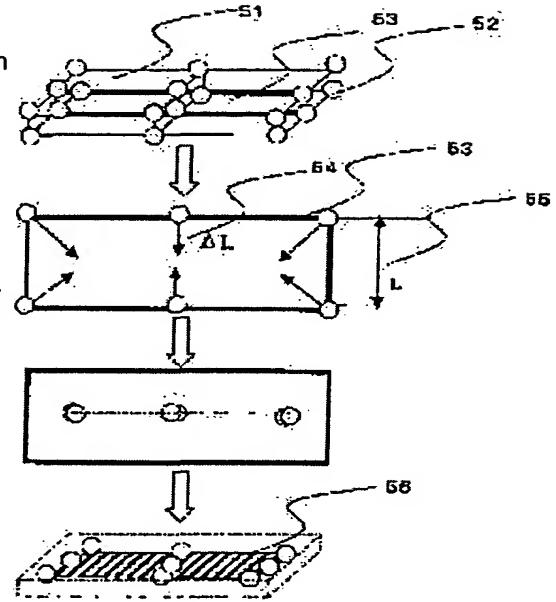
(21)Application number : 2001-002520 (71)Applicant : TORAY IND INC  
 (22)Date of filing : 10.01.2001 (72)Inventor : TANAKA FUTOSHI

## (54) METHOD FOR GENERATING NEUTRAL PLANE MODEL

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of efficiently generating a neutral plane mesh model used in an analysis on the basis of shape data generated by a CAD system.

SOLUTION: A hollow mesh model of a two-layer structure is generated by using surface information of CAD data. Nodal points of the model are collected on a neutral plane by moving the nodal points of the model while determining contacts with elements of an opposing face on the basis of mobile vectors set on the basis of the shape, and the neutral plane model is generated on the basis of the result.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-207777

(P2002-207777A)

(43)公開日 平成14年7月26日 (2002.7.26)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 6 F 17/50  
// G 0 5 B 19/4097

識別記号  
6 1 2

F I  
G 0 6 F 17/50  
G 0 5 B 19/4097

テマコード(参考)  
6 1 2 J 5 B 0 4 6  
C 5 H 2 6 9

審査請求 未請求 請求項の数8 OL (全12頁)

(21)出願番号 特願2001-2520(P2001-2520)

(22)出願日 平成13年1月10日 (2001.1.10)

(71)出願人 000003159  
東レ株式会社  
東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号

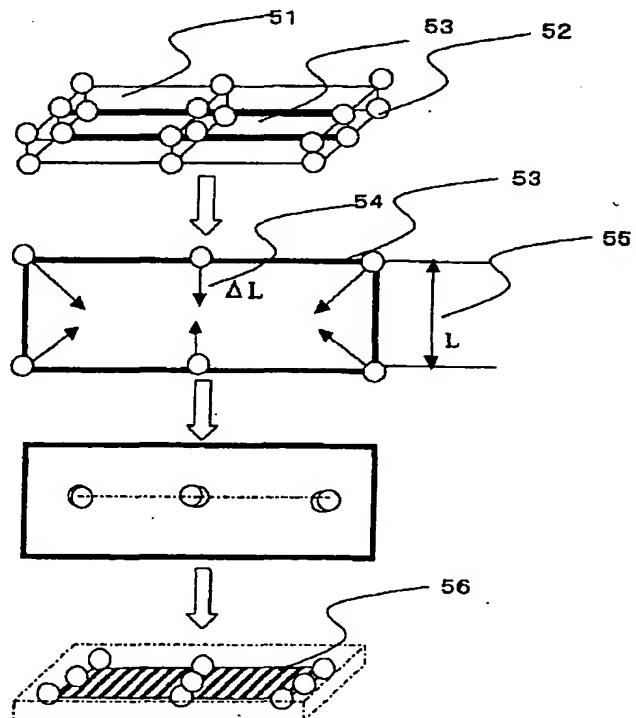
(72)発明者 田中 太  
滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株  
式会社滋賀事業場内  
Fターム(参考) 5B046 DA02 FA06 FA18 JA07  
5H269 AB19 QA06

(54)【発明の名称】 中立面モデルの生成方法

(57)【要約】

【課題】 CADシステムで生成された形状データをもとに、解析に用いる中立面メッシュモデルを効率よく生成する方法を提供すること。

【解決手段】 CADデータのサーフェス情報を利用して、2層構造の中空のメッシュモデルを生成し、モデルの節点を形状に基づいて設定された移動ベクトルに基づいて、対面の要素との接触を判定しながら移動させることによって、モデルの節点を中立面に集め、この結果に基づいて中立面モデルを生成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】厚みを有する物品の形状を表す形状データに基づいて中立面モデルを生成する方法であって、前記形状データの定義する形状の少なくとも一部の表面を複数の表面要素に分割する工程と、前記表面要素を構成する各節点に対し該各節点を物品内部に向かって移動させる移動ベクトルを設定する工程と、該設定された前記各移動ベクトルに基づき前記各節点を移動させる工程と、移動した前記各節点と他の表面要素との接触を判定する工程と、接触したと判定された節点を固定する工程と、固定された点に基づき中立面をモデル化する工程を含むことを特徴とする中立面モデルの生成方法。

【請求項2】前記中立面に定義される厚みは、前記節点の移動距離に基づいて求められることを特徴とする請求項1に記載の中立面モデルの生成方法。

【請求項3】前記移動ベクトルを、前記表面要素の面の法線方向のベクトルに基づいて設定することを特徴とする請求項1または2に記載の中立面モデルの生成方法。

【請求項4】請求項1～3のいずれかに記載の中立面モデルの生成方法により物品の中立面モデルを生成し、該生成された中立面モデルを用いて前記物品の数値解析を行うことを特徴とする物品の数値解析方法。

【請求項5】厚みを有する物品の形状を表す形状データに基づいて中立面モデルを生成する装置であって、前記形状データの定義する形状の少なくとも一部の表面を複数の表面要素に分割する表面分割手段と、前記表面要素を構成する各節点に対し該各節点を物品内部に向かって移動させる移動ベクトルを設定する移動ベクトル設定手段と、該設定された前記各移動ベクトルに基づき前記各節点を移動させる節点移動手段と、移動した前記各節点と他の表面要素との接触を判定する接触判定手段と、接触したと判定された節点を固定する節点固定手段と、固定された点に基づき中立面をモデル化するモデル化手段を含むことを特徴とする中立面モデルの生成装置。

【請求項6】厚みを有する物品の形状を表す形状データに基づいて生成された中立面モデルに基づいて数値解析を行う数値解析装置であって、前記形状データの定義する形状の少なくとも一部の表面を複数の表面要素に分割する表面分割手段と、前記表面要素を構成する各節点に対し該各節点を物品内部に向かって移動させる移動ベクトルを設定する移動ベクトル設定手段と、該設定された前記各移動ベクトルに基づき前記各節点を移動させる節点移動手段と、移動した前記各節点と他の表面要素との接触を判定する接触判定手段と、接触したと判定された節点を固定する節点固定手段と、固定された点に基づき中立面をモデル化するモデル化手段と中立面モデルに基づいて数値解析を行う数値解析手段を含むことを特徴とする数値解析装置。

【請求項7】前記中立面モデルの生成方法の各手順をコンピュータを用いて実施できるようにコンピュータを動

作させるソフトウェア。

【請求項8】請求項7に記載のソフトウェアを記憶したコンピュータ読取可能な記憶媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、CADから出力された厚さを有する形状データから、中立面を抽出する方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】有限要素法に代表される数値シミュレーションでは、図19のように解析の対象となる物体の形状を一般にメッシュと呼ばれる三角形12、あるいは四角形といった2次元的な微小平面要素の集合体11でモデル化する方法が広く用いられている。

【0003】この微小平面要素は、形状的には厚みを有しない面として定義し、それぞれの微小要素に厚みを数値として定義するシェル要素とよばれる要素が広く使われている。しかし、実際には物体は厚みを有するため、このモデル化による形状の再現性は厚肉の物体については保証されず、このモデル化の適用は、比較的薄肉の物体に限定されることとなる。

【0004】ところで、部品の設計ではCADシステムを利用するケースがほとんどであり、解析を行う際にはCADデータを利用して解析用メッシュモデルを生成するのが効率的である。CADデータは、主に形状を定義するポイントとライン、および前述のサーフェースから構成されており、物品は表面と裏面2枚のサーフェスで形状定義がされるのが通常である。従来これらCADデータから解析用メッシュモデルを生成する際には、前述のように表裏いずれかのサーフェスを利用する方法や、表裏のサーフェスの中間に中立面サーフェスを改めて生成し、これを用いる方法が用いられてきた。特に中立面を生成する方法は、物品の厚みを考慮した方法であるため、物品形状の再現性が高く、好ましい方法である。従来、この中立面モデルの生成は、オペレータが表裏のサーフェスデータから、その中心に相当するサーフェスを改めて生成し直して、解析用メッシュモデルを生成する場合がほとんどであったが、非常に手間がかかる作業であり、形状的にサーフェスの結合が困難な部分、リブ付け根部分など中立面の定義が困難な部分については試行錯誤により対処しており、オペレータの経験、技量によるところが大きかった。

【0005】物体のシェル要素によるモデル化では、厚みを有する物体の形状をサーフェスと呼ばれる平面あるいは曲面の集合で定義し、このサーフェス上にメッシュを生成させるという手順をとることが多い。実際には厚みを有する物体形状からメッシュ分割を行うためのサーフェスを定義する方法としては、図20に示すように物体21の片側の面のサーフェス22、または23を利用する方法や、図21に示すように中立面と呼ばれる厚さ

方向の中心面24を利用してサーフェス25を定義する方法があった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、複雑な形状をもつ製品のCADデータから、効率よく中立面を生成する技術は熟練オペレータでも困難な作業であり、この部分が解析のボトルネックとなっており、経験の浅いオペレータでも短時間でモデルの生成が可能となるよう、コンピュータによりCADデータから自動的あるいは半自動的に中立面を生成する技術が求められてきた。

【0007】本中立面の生成方法としては、特開平11-353501号公報にあるようにCADデータから出力された裏表サーフェスの間を埋めるソリッド要素によるメッシュ生成をあらかじめ行った上で、それぞれのソリッド要素の結合状態を基に中立面を生成する方法や、計算工学講演会論文集（第5巻第2号P.513～516）にあるように裏表のペアサーフェスを検索し、これらの中心にサーフェスを張る方法などが存在するが、ソリッド要素によるメッシュ生成などに手間がかかる、リブなど分岐形状認識のために場合分け、ペアサーフェスの抽出について、形状によっては対応できない場合があるなどの問題点が存在した。

【0008】そこで、本発明は、CADデータ等の物品の形状データから簡便なアルゴリズムにより効率的に中立面を生成することができ、かつ、形状による依存性が少なく、汎用性の高い中立面モデルの生成方法および装置を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の中立面モデルの生成方法は、厚みを有する物品の形状を表す形状データに基づいて中立面モデルを生成する方法であって、前記形状データの定義する形状の少なくとも一部の表面を複数の表面要素に分割する工程と、前記表面要素を構成する各節点に対し該各節点を物品内部に向かって移動させる移動ベクトルを設定する工程と、該設定された前記各移動ベクトルに基づき前記各節点を移動させる工程と、移動した前記各節点と他の表面要素との接触を判定する工程と、接触したと判定された節点を固定する工程と、固定された点に基づき中立面をモデル化する工程を含むことを特徴とする中立面モデルの生成方法である。

【0010】また、本発明の好ましい態様は、前記中立面に定義される厚みは、前記節点の移動距離に基づいて求められることを特徴とする中立面モデルの生成方法である。

【0011】また、本発明の好ましい態様は、前記移動ベクトルは、前記表面要素の面の法線方向のベクトルに基づいて求められることを特徴とする中立面モデルの生成方法である。

【0012】また、本発明の物品の数値解析方法は、前

記中立面モデルの生成方法により物品の中立面モデルを生成し、該生成された中立面モデルを用いて前記物品の数値解析を行うことを特徴とする物品の数値解析方法である。

【0013】また、本発明の中立面モデルの生成装置は、厚みを有する物品の形状を表す形状データに基づいて中立面モデルを生成する装置であって、前記形状データの定義する形状の少なくとも一部の表面を複数の表面要素に分割する手段と、前記表面要素を構成する各節点に対し該各節点を物品内部に向かって移動させる移動ベクトルを設定する手段と、該設定された前記各移動ベクトルに基づき前記各節点を移動させる手段と、移動した前記各節点と他の表面要素との接触を判定する手段と、接触したと判定された節点を固定する手段と、固定された点に基づき中立面をモデル化する手段を含むことを特徴とする中立面モデルの生成装置である。

【0014】また、本発明の数値解析装置は、厚みを有する物品の形状を表す形状データに基づいて生成された中立面モデルに基づいて数値解析を行う数値解析装置であって、前記形状データの定義する形状の少なくとも一部の表面を複数の表面要素に分割する手段と、前記表面要素を構成する各節点に対し該各節点を物品内部に向かって移動させる移動ベクトルを設定する手段と、該設定された前記各移動ベクトルに基づき前記各節点を移動させる手段と、移動した前記各節点と他の表面要素との接触を判定する手段と、接触したと判定された節点を固定する手段と、固定された点に基づき中立面をモデル化する手段と中立面モデルに基づいて数値解析を行う数値解析手段を含むことを特徴とする数値解析装置である。

【0015】また、本発明のソフトウェアは、前記の中立面モデルの生成方法の各手順をコンピュータを用いて実施できるようにコンピュータを動作させるソフトウェアである。

【0016】また、本発明の記憶媒体は、前記ソフトウェアを記憶したコンピュータ読取可能な記憶媒体である。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施態様について図面を用いて説明する。

【0018】本実施態様では、まずCADシステムで生成された物品形状を定義するデータを利用する。以降、図1の説明図により中立面生成に必要なデータ準備について説明する。

【0019】通常CADシステムでは、形状を主にポイント、ライン、サーフェスのデータで定義している。その出力フォーマットは、利用する機種によって様々であり、これを本発明では、あらかじめ決められたフォーマットに変換するのが好ましい。この変換方法としては、それぞれのフォーマットに対応した変換コンバーターにより、所望のフォーマットに変換する方法が考えられ

る。この方法は、CADシステム（101）からシステム固有フォーマット（111）で出力し、これをコンバーター（102）により、後述するメッシュジェネレーター（103）の読み込みフォーマット（112）に変換し、メッシュジェネレーター（103）で読み込むものである。しかし、この方法では、様々なCADフォーマットに対応するためには、フォーマットの数だけコンバータが必要になる。また、CADシステムのバージョンアップによるフォーマットの変更の影響も大きく受けことになる。こうしたコンバーターを介しての直接的なデータ変換方法の他に、CADシステム間で、公開された中間ファイルを介してデータのやり取りを行う間接変換方法が存在する。この方法は、CADシステム（101）から標準フォーマットとして準備された中間フォーマット（113）の形で出力し、これをメッシュジェネレーター（103）で直接読み込むものである。この中間ファイル形式としては、IGES、DXF、BIM、PCESなどが知られており、多くのCADシステムにおいてこれらの形式によるデータ出力機能が装備されている。特にCADデータの国際標準形式として知られるIGESは、産業界で広く利用されているデータ形式であり、本発明においても本データ形式の利用が好ましい。

【0020】本態様では、CADシステム（101）から出力されるサーフェスのデータをもとに、本来厚みを有する物品を、シェル要素と呼ばれる、厚みを持たない多角形面要素の集合体として精度良くモデル化することを目的としている。本来、厚みを有する物品のサーフェスデータは、厚み分だけ隙間が空いた状態で、表面、裏面のセットで定義されている。したがって、本処理において、初期状態としては、表裏のサーフェスからなる2層構造の中空品モデルとして定義されている。

【0021】中立面生成処理の入力データ形式としては、上記中空品モデルのサーフェースが有限個の多角形の表面微小要素の集合体で定義されたメッシュと呼ばれる状態にする必要がある。このデータの構成要素は、節点と要素であり、具体的には、要素を構成する点の座標の数値データの集合と、各要素を構成する節点の番号により構成される要素定義データの集合である。このデータ構成の例を図2に示した。

【0022】

【表1】

節点番号	x座標	y座標	z座標
N1	1.0	1.0	0.0
N2	3.0	1.0	0.0
N3	3.0	3.0	0.0
N4	1.0	2.0	0.0
要素番号	節点1	節点2	節点3
E1	N1	N2	N4
E2	N2	N3	N4

【0023】これは、4つの節点、2つの三角形要素から構成される形状をあらわすデータで、ここには、節点座標としてN1は（1, 1, 0）、N2は（3, 1, 0）、N3は（3, 3, 0）、N4は（1, 2, 0）、また要素E1は節点N1、N2、N4、要素E2はN2、N3、N4より構成されていることが示されている（表1）

前述のIGES形式のサーフェスデータから、中空メッシュデータを生成する方法としては、市販のメッシュジェネレーター（103）を用いる方法が一般的である。メッシュジェネレータは、サーフェス上にメッシュを自動生成する機能を有しており、主に有限要素法などの数値解析で使用するデータを生成するために用いられている。メッシュジェネレータとしては、米国SDRC社のIDEASや米国MSC社のPATRANなどが広く利用されているので、これらを利用すると良い。以上の前処理により、CADのサーフェス情報を用いた2層構造の中空メッシュモデルデータ（114）が準備される。

【0024】以上、CADから中立面生成に必要なデータ形式への変換方法について述べたが、STL形式と呼ばれる光造形などラピッドプロトタイピングに利用されているCADフォーマットは、前述の節点、三角形要素から構成される形式であるので、上記の2層中空メッシュモデルに必要な要素を満たし、本態様のシステムにそのまま利用が可能である。したがって、CADシステム（101）にSTLフォーマットの出力機能が存在すれば、STLフォーマット（115）で出力して、そのまま中立面生成システム（104）で読み込みが可能である。

【0025】上述した2層中空モデルメッシュデータを用意した後、このデータを中立面生成システム（104）に入力し、この入力にもとづいて中立面モデルの生成処理を実行することとなる。

【0026】具体的には、平面要素の集合体として定義された物品形状モデルは、表面が要素分割された2層構造の中空形状モデル（以降中空モデル）となっているが、本中空モデルについて、要素を構成する節点を、面の外側方向として定義される法線方向と逆方向、すなわち物品内部に向かう方向に微小距離移動させる。この操作を繰り返し、表面と裏面が接触したところで固定する。すると、2層構造のモデルの表面と裏面が収縮する

ような形で接近するため、操作を進めるにしたがって、表面と裏面の要素の接触が発生、進行し、あたかも、2層構造の中空品中の空気を抜くようなイメージで、最終的に厚みなしのつぶれた状態の形状が得られる。このとき、それぞれの節点が移動した距離を節点位置での厚み情報として保存する。以上の操作によって得られた変形後のモデルの節点群は、中立面上に集まることになり、この節点群あるいは変形したモデルから改めてメッシュを生成することにより、中立面モデルが生成されることになる。

【0027】なお、このとき保存される移動距離情報は、各節点が中立面まで移動した距離であり、通常の場合厚みのほぼ半分に相当する値である。したがって、実際の厚みは、この移動距離の2倍、あるいは裏側の節点の移動距離との和で表すことが可能である。

【0028】また、上記処理により表面と裏面が張り合わされた状態の変形後のモデルが得られるが、プリポストシステムが、本変形後のモデルをコンピュータ画面に表示し、この形状の上に、オペレータによるサーフェスの再定義の入を受け付け、中立面モデルを再構築し、メッシュジェネレータにより再度メッシュモデルを生成するといった手順も効果的である。

【0029】なお、この工程の中で、節点の移動にともなう要素との接触は、有限要素モデルの節点と接触の可能性のある要素との幾何学的位置関係から判定する。

【0030】以下、さらに詳細に説明する。

【0031】図3は本発明のハードウェア構成を示す図である。

【0032】コンピュータ201に入力装置203、表示装置204および補助記憶装置202が接続されている。入力装置203により、CADシステムから前述の方法で変換処理され、要素分割された中空メッシュデータの入力が受け入れられ、データは補助記憶装置202に格納される。オペレータの指示によりコンピュータ201がこのデータを内部のRAM(ランダムアクセス可能な揮発性メモリ)に読み込み、中立面生成処理を行う。得られた結果はたとえば表示装置204により表示される。必要に応じて、オペレータがここでデータ修正を行うことができる。また、結果の出力はプリンタ装置に対して行ってもよく、補助記憶装置202に格納してもよい。

【0033】図4はこの発明の実施態様の概略手順を示すためのフローチャートである。

【0034】手順としては、まずCADシステムにより物品形状を生成し(ステップ1)、このCADデータをもとに中空メッシュモデルを生成(ステップ2)、このデータと中立面生成に必要な処理パラメータをコンピュータ(中立面生成装置)が読み取る(ステップ3)。そして、この入力データをもとに中立面生成処理が実行され(ステップ4)、結果の画面表示、確認および修正を

行う(ステップ5)。そして出来上がった中立面メッシュモデルにより目的の解析が実行される(ステップ6)。

【0035】また図5は本発明の中立面生成装置の処理部分の構成を示している。

【0036】本発明は、目的とする物品の形状を定義したCADデータから生成された中空メッシュモデル入力部1と、ここで与えられた入力データに基づき、節点の移動を行う節点移動処理部2と、移動節点と要素の接触を判定する接触判定部3と、得られた点群あるいは変形後の形状モデルから中立面シェルモデルを生成する中立面モデル生成部4を備えている。

【0037】さらに上記の構成の処理動作について、次に詳しく説明する。中空メッシュモデル入力部1は、物品のCADデータから生成された中空メッシュモデルを入力する部分である。本入力部では、処理を制御するために必要な情報もあわせて入力される。

【0038】次に、節点移動処理部2は、移動ベクトル設定部と節点移動部とからなり、入力部1で入力された中空メッシュモデルの節点を中立面上に移動させる処理を行う部分である。なお、節点の移動により、当然表面要素も中立面上に移動するのであるが、ここでは便宜上節点移動処理と呼ぶこととする。図6は、節点移動処理部2における処理を示したものである。

【0039】はじめに、データ入力部1で入力された中空メッシュモデルを読み込む(ステップ1001)。次に、読み込まれた中空メッシュモデルを構成する節点に対して、節点の法線ベクトルと逆向きの方向の移動方向ベクトルを計算する。(ステップ1002)。ここでいう法線ベクトルとは、要素表面、または節点に対応して設定された単位ベクトルデータをいう。なお、要素の表、裏は、要素を構成する節点の並びにより定義され、図7のように、要素を見たとき節点が反時計回りに並んでいる場合、この面を表面31とし、反対に時計回りの場合には裏面32とすることとする。

【0040】なお、このとき図7の場合、前述の要素を定義するデータフォーマットとして、要素を構成する節点の並びは、表面を定義するようにN1、N2、N3の順に並ぶこととなる。

【0041】ここで、移動ベクトル設定部における法線ベクトルの定義方法について図8により、説明する。三角形要素で定義されたモデルの節点における法線ベクトルは、節点を取り囲む要素に定義される面積ベクトルのベクトル和を、そのベクトル和の大きさで割ることにより定義可能である。ここで、要素E1において、要素の面積ベクトルV(E1)は要素の稜ベクトルA、Bの外積の1/2、すなわち式(1)

$$V(E1) = (A \times B) / 2 \quad (1)$$

で定義されるベクトルであり、これは、要素の面積を大きさにもつ要素の法線方向のベクトルとして定義される

ベクトルである。節点の法線ベクトルは、節点を取り囲む要素の面積ベクトルから算出される単位ベクトルであり、ベクトルの持つ方向は、節点を取り囲む要素の面積ベクトルの総和  $V(E)$  と同方向のベクトルである。図において、節点  $Nd1$  の法線ベクトル  $N(Nd1)$  は、式 (2)

$$V(Nd1) = \sum V(Ei) / |\sum V(Ei)| \quad (2)$$

$$\sum V(Ei) = V(E1) + V(E2) + V(E3) + V(E4)$$

として定義される。

【0042】移動方向ベクトルは、この法線ベクトル  $V(Nd1)$  と反対方向のベクトル  $-V(Nd1)$  として定義されるベクトルである。この移動ベクトルを用いた節点移動部における節点移動処理を模式的に説明したのが図9である。

【0043】中空モデル51について、夫々の節点52について移動ベクトル54を計算する。図では、断面53についての移動の様子を図示する。統いて各節点をステップ2で計算した移動方向ベクトルの方向に微小距離  $\Delta L$ だけ移動させる。微小距離  $\Delta L$  は、モデルの最小の層間の厚さ  $L$  (55) の半分  $L/2$  以下である必要があり、小さくとるほど最終的に得られる中立面の精度は向上する(ステップ1003)。このときの節点の移動による該節点と中空メッシュモデルの要素との接触を判定する。この  $\Delta L$  の移動の間に節点と要素の接触が生じた場合、該節点の移動を終了とし、座標を固定する。接触の判定方法については、後述する(ステップ1004)。以上のステップ1002からステップ1004までの操作をモデルの全ての節点について実施する。ただし、すでに接触が完了した節点については上記処理からはずす。なお、本発明において平面要素とは、隣接する3個以上の節点の集合として平面の一部を画定することができるものをいい、このような平面の一部を他の節点が通過したり接触したりすることを判断しうるものとしいう。したがってソフトウェア内部において1個の要素を形成しているものと把握される必要はない。

【0044】次に、 $\Delta L$  の移動により、すべての節点が接触を完了したかどうかをチェックする(ステップ1005)。このとき接触が完了していない場合はふたたびステップ1002にもどって計算を繰り返す。この操作を最終的にすべての節点が接触を完了するまで繰り返した後、処理は終了となり、節点は中立面56に集まるとなる。

【0045】次に接触判定部3について説明する。接触判定部3は、節点移動処理部2での節点と要素の接触を判定する部分である。節点と要素の接触判定方法について説明する。まず、節点が要素の内側にあるか外側にあるかを判定する必要がある。図10を用いて判定方法を説明する。

【0046】判定は、要素Eの法線ベクトルNと要素を構成する1つの節点jから移動節点iに伸ばしたベクトルVの内積 ( $N \cdot V$ ) の正負で判定可能である。すなわ

ち、この内積の値が正の場合、節点iは要素Eの定義する面Sの外側にあり、負の場合内側にあると判断できる。節点移動処理の前の段階では、節点iは接触の可能性の高い要素Eの定義する面Sの内側に位置している必要がある。

【0047】次に、節点の法線ベクトルに基づいた節点の移動  $\Delta L$  による移動ベクトル  $Q$  を算出し、この移動後、節点iが要素Eが空間上に定義する平面Sの外側にあるか内側にあるかを前述の判定方法で判定する。移動前に内側にあった節点iが要素の外側に移動したと判定されると、節点iは、その要素と接触した可能性があるとして、より詳細な判定を行う。

【0048】ここでは、実際に節点の移動ベクトル  $Q$  が面Sのみならず要素E自身と交差したか否かを確認するのであるが、この場合、移動ベクトル  $Q$  と要素Eが定義する面Sと交差する点の座標  $P$  が、要素の内部に存在するか否かを調べればよい。次にこの面Sと交差する点  $P$  が、要素の内部に存在するか外部に存在するかを判定する方法について説明する。交差点  $P$  の座標は、移動ベクトルと要素Eが定義する面Sの交点を幾何学公式によって求めることにより決定される。移動前の節点iの位置ベクトルを  $X0$ 、要素Eを構成するひとつの節点jの位置ベクトルを  $Xj$ 、要素の法線ベクトルを  $N$ 、移動ベクトルを  $Q$  とすると、交差点の位置ベクトル  $P$  は、

$$P = X0 + Nt \quad (3)$$

$$t = [N \cdot (Xj - X0)] / (N \cdot Q)$$

の式で求めることができる。

【0049】次に、交差点  $P$  が要素内にあるか否かの確認方法について図11を使って説明する。

【0050】三角形の要素を考えた場合、面Sとの交差点  $P$  と要素を構成する節点i、j、kのうちの2節点から、3つの三角形  $A_{jkp}$ 、 $A_{klp}$ 、 $A_{ljp}$  が作図可能である。交差点  $P$  が要素の内部に存在する場合61では、この三角形の面積の総和 ( $A_{jkp} + A_{klp} + A_{ljp}$ ) は、要素の面積  $A_{jkl}$  と一致するが、 $P$  が要素の外部にある場合62では、この三角形の面積の総和 ( $A_{jkp} + A_{klp} + A_{ljp}$ ) は、要素の面積  $A_{jkl}$  よりも大きくなる。したがって、要素の面積と、この3つの面積の総和を比較することにより、要素との接触の有無を判定可能となる。なお、3つの三角形の面積は、交差点  $P$  と要素の各節点を結ぶベクトル  $V_{pj}$ 、 $V_{pk}$ 、 $V_{pl}$  により、夫々の三角形の面積は、

$$A_{jkp} = |V_{pj} \times V_{pk}| / 2$$

$$A_{klp} = |V_{pk} \times V_{pl}| / 2$$

$$A_{ljp} = |V_{pl} \times V_{pj}| / 2 \quad (4)$$

で求めることができる。要素との接触判定は、要素の面積を  $A_{jkl}$  とすると、次の判定式により、判定可能である。

$$((A_{jkp} + A_{klp} + A_{ljp}) / A_{jkl} - 1) < \epsilon \quad (5)$$

この判定式が成り立つ場合、要素と接触したと判断す

る。本発明においては、接触判定の抜けの発生を防ぐために閾値  $\varepsilon$  を大きめに設定することが好ましい。次に、中立面生成部4では、節点移動処理部2により中立面上に移動が完了したモデルあるいは節点群を利用して改めて要素分割を行う部分である。上記処理により、中空メッシュモデルは、あたかも内部の空気を抜かれてつぶれたゴムポートのような状態になっており、構造的には、図12のように同一の中立面に表裏の面が重なっているような状態になるため、通常このままでは解析に使用できない。

【0051】したがって、解析のためのモデル再構成の処理が必要となる。このモデル再構成の処理としては、オペレーターがコンピュータ表示画面でモデルの形状を確認し、このモデルから手作業により、輪郭線を抽出し、サーフェース定義をすることによりサーフェスモデルの再構築を行い、このデータをもとにメッシュジェネレータを介して解析用モデルを生成する方法が、最も容易である。しかし、モデルが複雑になると手作業によるモデル再構築は手間がかかり、非効率的であるので、自動化手法の導入が望ましい。

【0052】この自動化には、例えば、節点移動処理により中立面に集まった点群から、自動的にメッシュを生成する方法などを用いると良い。この方法としては、Hugues Hoppeらによる点群から三角形メッシュを生成する方法「Proceedings of ACM SIGGRAPH'92, pp. 71-78」などが存在し、ミノルタ株式会社製のレーザー型非接触3次元測定器VIVID700などでは、実際に測定された点群から三角形メッシュを生成する機能にこの種の方法が適用、実用化されている。

【0053】また、有限要素法解析にメッシュを用いずに節点の情報だけを用いて解析を行う手法であるメッシュレス法を用いれば、改めてメッシュ分割の必要はなく、点群をそのまま用いて解析可能となる場合もある。

【0054】次に厚み付与部5では、節点の移動距離からそれぞれの節点に厚さを定義する。厚さの定義方法としては、反対側からの移動を考慮して実際の節点の移動距離の2倍を与える方法が最も簡便であるが、より正確な厚さを与えるためには、該当する節点と接触が確認された要素の移動距離から反対側の移動距離を算出し、該当する節点の移動距離に加える方法を用いるとよい。

【0055】以上の方法による中立面モデル生成方法を実際の例により、説明する。目的製品として平板にリブが立った図13のような物品形状を例に取って説明する。

【0056】形状を定義する図14のようなCADデータのサーフェスデータに基づき、メッシュジェネレータにより図15のような中空メッシュモデルを生成し、これを中空メッシュモデルデータ入力部1に入力する。

【0057】このモデルは、図16に示すように断面を見ると2層の中空形状のメッシュモデルの状態となって

いる。

【0058】このときあわせて処理に用いる微小移動量 $\Delta L$ を設定する。次に、節点移動処理部2により、中空メッシュモデルの各節点の移動ベクトルが計算され、節点の移動が開始する。この移動処理の間、接触判定部3による接触判定処理が実行され、夫々の節点は対向する面と接触し、最終的に中空メッシュモデルの各節点は、中立面上に移動し固定されることになる。このとき処理の過程を図17に示す。

【0059】この移動により、対向する面が重なった状態の変形形状が図17の最終形状のように得られる。次にここで、得られた形状をもとに中立面モデル生成部により、モデルの再構築が行われ、この結果にもとづき、図18のように解析用メッシュが生成される。

【0060】なお、解析用メッシュに付与される厚みは、厚み付与部5で算出された厚みが与えられる。

【0061】以上のように、本発明によりこれまでシェル要素によるメッシュ生成の際に課題とされていた中立面モデルの効率的な生成が可能となる。

【0062】また、上述の通り本発明は計算機を用いたシミュレーションを利用するものであり、かかるシミュレーションを行うためのソフトウェアは、多くの場合、磁気ディスクや光ディスクといった記憶媒体やネットワークといった有線または無線の伝送手段により流通される。

### 【0063】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明によれば、有限要素法などにより数値解析を行う際に必要な中立面メッシュモデルの生成において、CADシステム等で生成された物品の形状データを利用して解析に使用する中立面メッシュモデルが精度良く生成可能である。また、本発明の好ましい態様によれば、従来オペレーターの経験、スキルに依存するところの大きかった中立面モデルの生成の効率化が図られ、解析におけるモデル生成のための作業時間を短縮することができる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】 中立面生成に必要なデータ準備の流れを示した図である。

【図2】 本発明のメッシュモデルのデータ構造を示す図である。

【図3】 本発明の一実施態様のハードウェア構成を示す図である。

【図4】 本発明の一実施態様におけるフローチャートである。

【図5】 本発明の一実施態様におけるブロックダイアグラムである。

【図6】 本発明の一実施態様における節点移動処理部2のフローチャートである。

【図7】 本発明の一実施態様における要素の表裏の定義方法を示した図である。

【図8】 本発明の一実施態様における節点の法線ベクトルの定義方法を示した図である。

【図9】 本発明の一実施態様における中立面生成の過程を模式的に示した図である。

【図10】 本発明の一実施態様における節点の要素に対する内外判定方法を示した図である。

【図11】 本発明の一実施態様における節点と要素の接触判定方法を示した図である。

【図12】 本発明の一実施態様における節点移動処理終了後の状態を示した図である。

【図13】 本発明の実施例における物品形状を示す図である。

【図14】 本発明の実施例におけるCADのサーフェスデータを示す図である。

【図15】 本発明の実施例における中空メッシュモデルを示す図である。

【図16】 本発明の実施例における中空メッシュモデルの断面を表示した図である。

【図17】 本発明の実施例における中立面生成過程を示す図である。

【図18】 本発明の実施例における中立面生成後のメッシュモデルを示す図である。

【図19】 解析に用いられるメッシュモデルを示す図である。

【図20】 物体の片側サーフェスを利用してモデルのサーフェス定義する方法を示す図である。

【図21】 物体の中立面を利用してモデルのサーフェス定義する方法を示す図である。

【符号の説明】

1 1 : メッシュモデル

1 2 : 要素

2 1 : 対象物体 (物品)

2 2 : 外側サーフェス

2 3 : 内側サーフェス

2 4 : 中立面

2 5 : 中立面サーフェス

3 1 : 表面

3 2 : 裏面

5 1 : 中空メッシュモデル

5 2 : 節点

5 3 : 断面

5 4 : 節点移動ベクトル

5 5 : 面間距離

5 6 : 中立面

6 1 : 接触状態

6 2 : 非接触状態

1 0 1 : CADシステム

1 0 2 : コンバーター

1 0 3 : メッシュジェネレータ (表面分割手段)

1 0 4 : 中立面生成システム

1 1 1 : システム固有フォーマット

1 1 2 : メッシュジェネレータ対応フォーマット

1 1 3 : 中間ファイル形式

1 1 4 : 中空メッシュモデル

1 1 5 : STLフォーマット

2 0 1 : コンピュータ

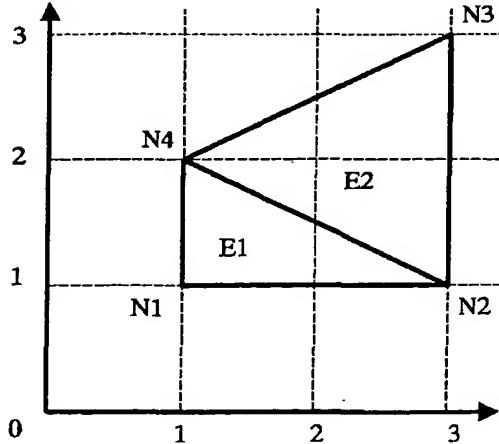
2 0 2 : 機械記憶装置

2 0 3 : 入力装置

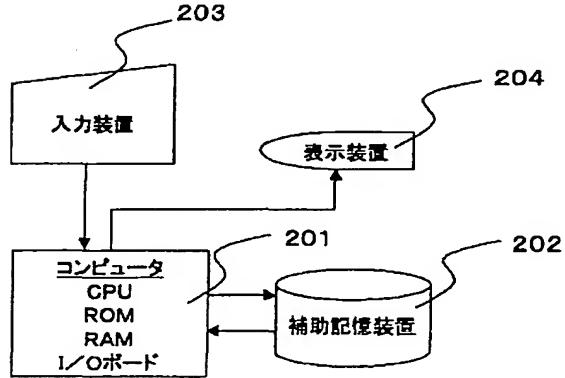
2 0 4 : 表示装置

2 0 5 : CAD装置

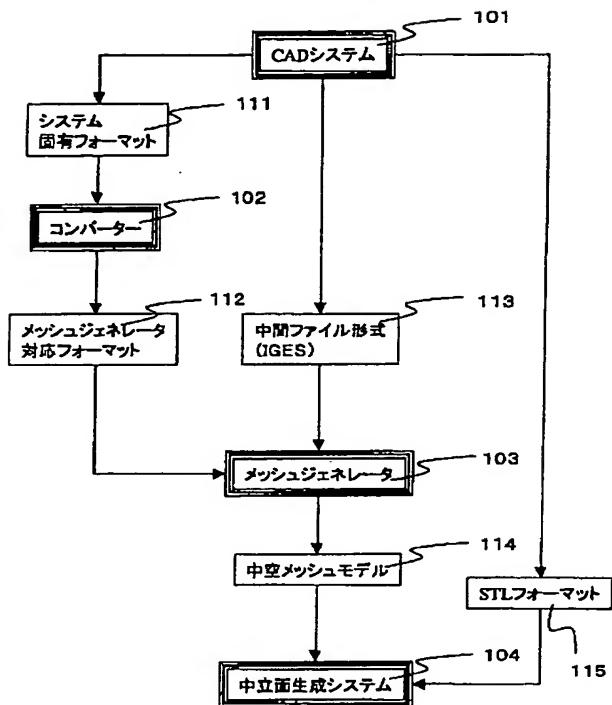
【図2】



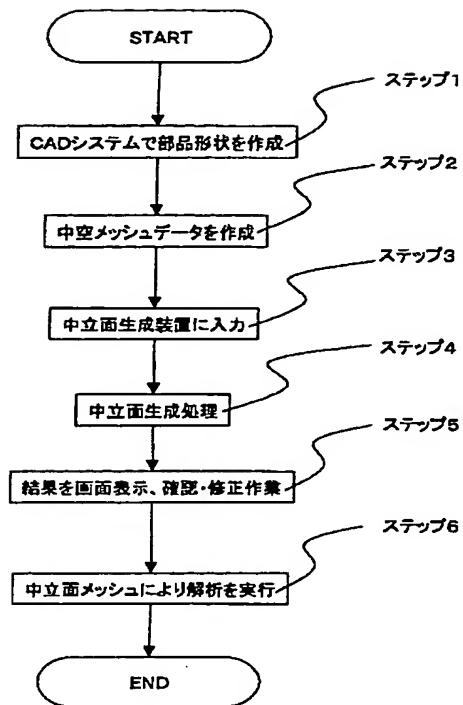
【図3】



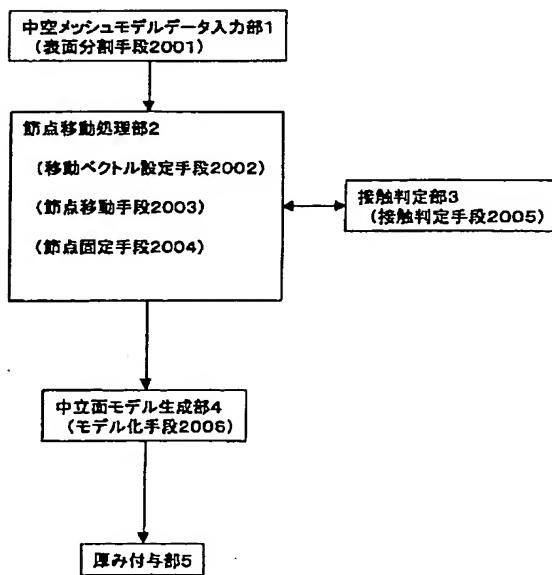
【図1】



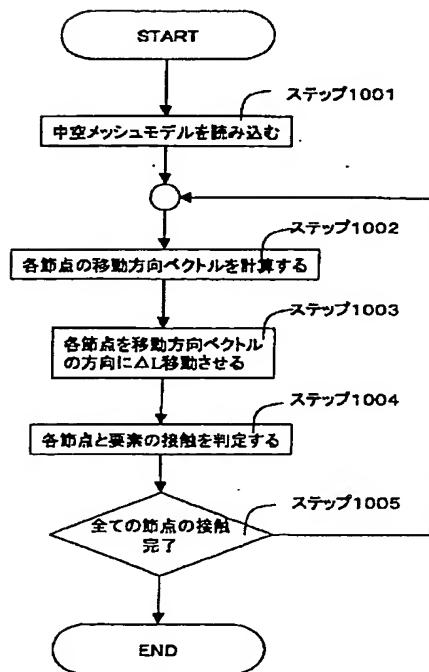
【図4】



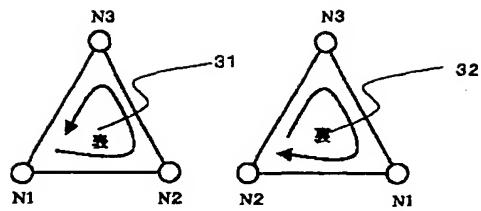
【図5】



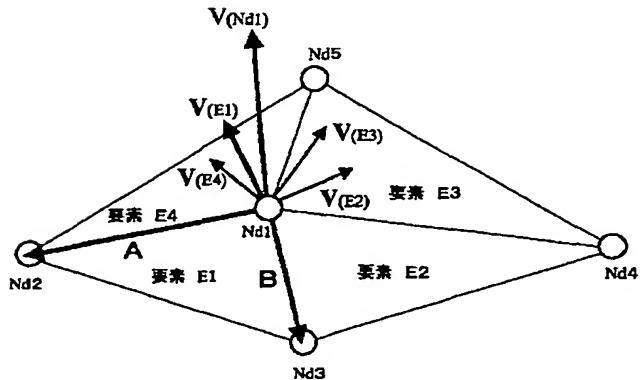
【図6】



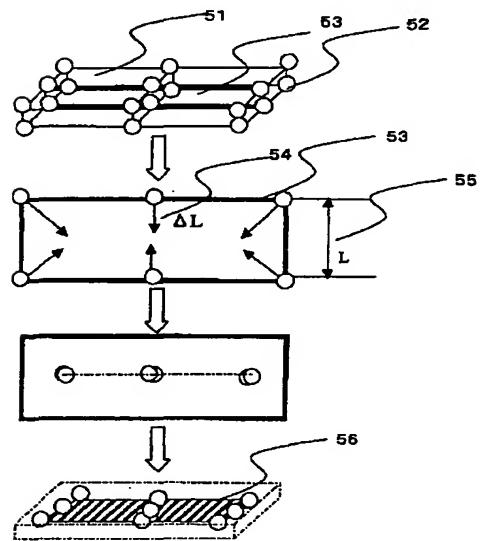
【図7】



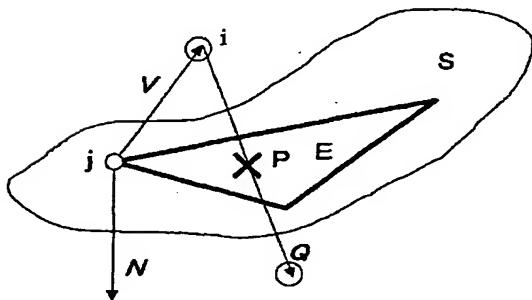
【図8】



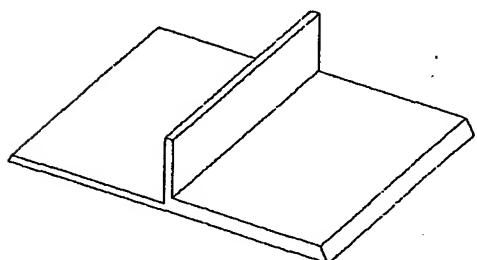
【図9】



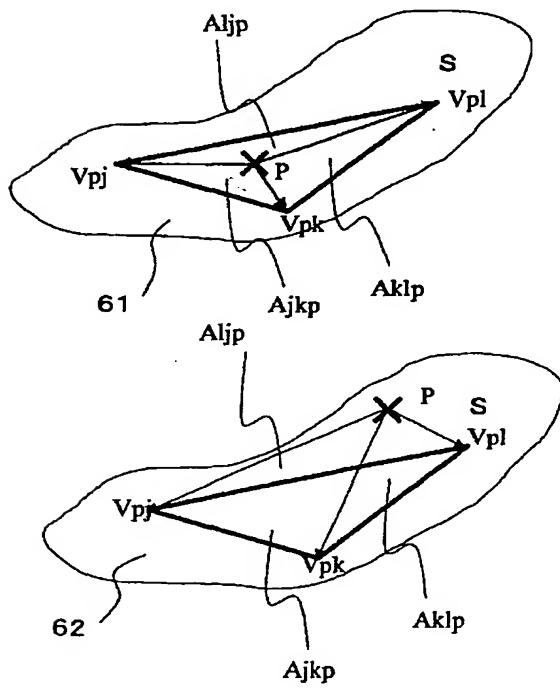
【図10】



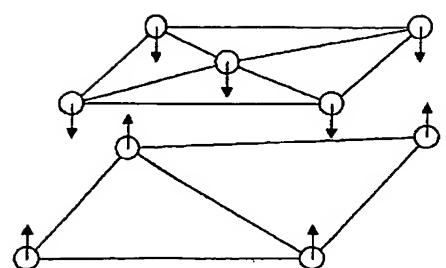
【図13】



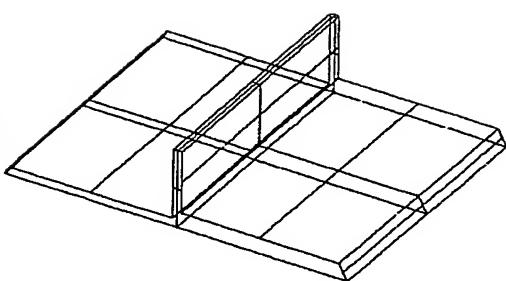
【図11】



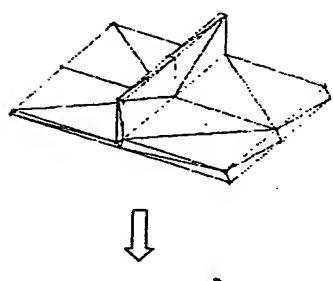
【図12】



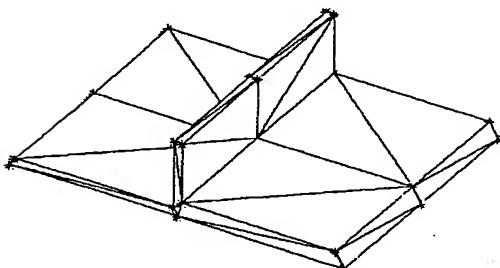
【図14】



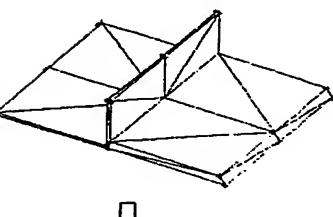
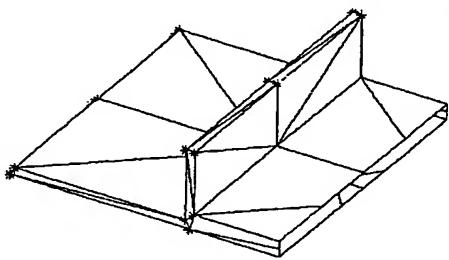
【図17】



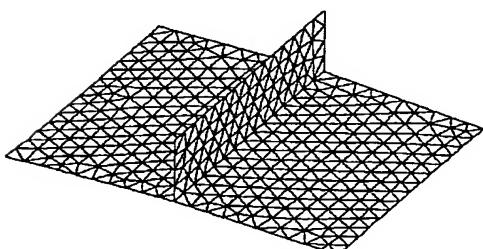
【図15】



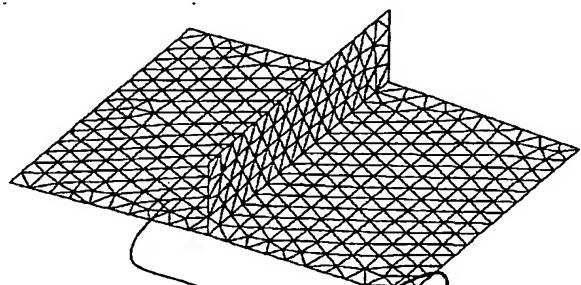
【図16】



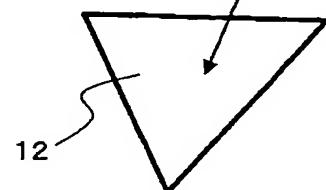
【図18】



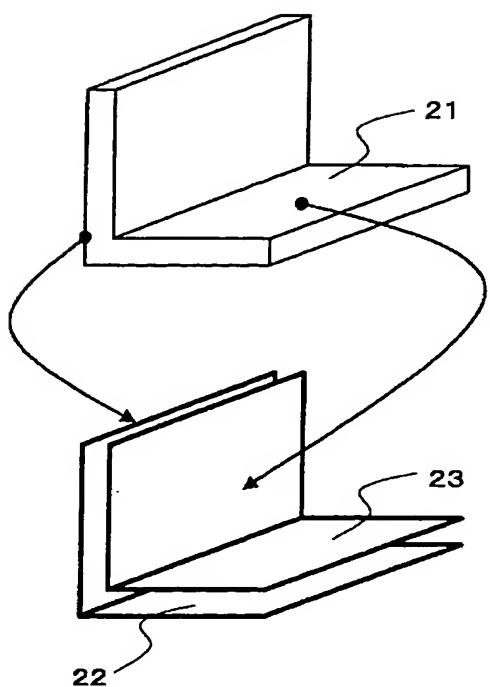
【図19】



11



【図20】



【図21】

